

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.09.029

酚醛泡沫塑料改性研究进展

吴忠泉¹, 刘凯²

(1. 山东非金属材料研究所, 济南 250031; 2. 空军驻山东地区军事代表室, 济南 250101)

摘要:从填充改性、增韧改性、发泡助剂种类、用量以及阻燃改性等方面综述了酚醛(PF)泡沫塑料的改性研究进展。指出改性剂种类和用量、改性方法以及改性材料与PF间的相容性等问题都是影响PF泡沫塑料性能提高的主要因素。通过改性可改善PF泡沫塑料的力学性能、热性能、阻燃性能等,使其在航空航天、航海、电子、建筑、包装等领域得到广泛应用。

关键词:酚醛泡沫; 改性; 填充; 增韧; 进展

中图分类号: TQ328.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)09-0120-05

Research Progress in Modification of Phenolic Foam

Wu Zhongquan¹, Liu Kai²

(1. Shandong Non-metallic Material Institute, Jinan 250031, China; 2. Military Representative Office of PLA Air Force in Shandong Region, Jinan 250101, China)

Abstract: Research progress in modification of phenolic(PF) foam was reviewed from filling modification, toughening modification, types and amount of foaming agent as well as flame retardant modification et al. Type and selection of modifier, modifying method and compatibility of modified materials and PF as the main influence factors to improve performance of PF foam were pointed out. Mechanical properties, thermal properties, flame retardant properties of PF foam can be improved by modification, PF foam can be used in aerospace, navigation, electronic, construction, packaging and other fields widely.

Keywords: PF foam; modification; filling; toughening; progress

酚醛(PF)泡沫塑料是由PF树脂通过化学发泡而得到的一种硬质泡沫塑料。其质量轻、刚性大、尺寸稳定性好、耐化学腐蚀,因而得到人们的广泛重视。与聚苯乙烯(PS)泡沫、聚氯乙烯(PVC)泡沫、聚氨酯(PUR)泡沫等材料相比,PF泡沫塑料在阻燃性能方面具有优良特点。然而,普通PF泡沫塑料延伸率低、质脆、硬度大、不耐弯曲,这大大限制了PF泡沫塑料的应用,所以对PF泡沫塑料的改性十分必要。

PF泡沫塑料的改性方法主要有填充改性、增韧改性及阻燃改性等。发泡助剂种类和用量对PF泡沫塑料性能也有较大影响。

1 填充改性

PF泡沫塑料的填充改性主要是通过添加纤维和无机填料两种方法进行改性。添加的纤维有芳纶纤维、玻璃纤维(GF)、天然纤维等。添加的填料有氧化物及纳米填料,例如:SiO₂、B₂O₃及纳米蒙脱土(MMT)等。

1.1 纤维填充改性

杨彦峰等^[1]采用GF改性PF泡沫塑料,并考察了其阻燃性能、表观密度和力学性能。结果表明,GF的加入进一步提高了PF泡沫塑料的阻燃性能。PF泡沫塑料的表观密度随着GF含量的增加而增大。当GF质量分数为6%、长

度为3 mm时,PF泡沫塑料的极限氧指数(LOI)为48%,表观密度为50 kg/m³,压缩强度为0.30 MPa,弯曲强度为0.34 MPa,综合性能较好。他们^[2]还利用GF和芳纶纤维的混杂纤维增强PF泡沫塑料,考察了GF和芳纶纤维的混杂比对PF泡沫塑料的压缩强度、弯曲强度和冲击强度的影响。结果表明,GF能大幅提高PF泡沫塑料的压缩强度,芳纶纤维能够大幅提高PF泡沫塑料的冲击强度,且在混杂纤维增强PF泡沫塑料中,压缩强度随着GF所占的比例的增大而增大,冲击强度随着芳纶纤维所占比例的增加而增大;GF和芳纶纤维均可提高PF泡沫塑料的弯曲强度,但二者以1:1(质量比)的比例混杂增强PF泡沫塑料时,改性PF泡沫塑料的弯曲强度达到最大,此时出现了两种纤维最优的混杂协同效应。

殷锦捷等^[3]以甲阶PF树脂为基体,聚乙二醇(PEG)为增韧剂、GF为增强体,制备了改性PF泡沫塑料。通过冲击测试等研究了PEG和GF对改性PF泡沫塑料性能的影响。结果表明,采用100份PF树脂,12份PEG,0.5份GF,温度为80℃,反应时间为30 min,可制备出增韧PF泡沫塑料,冲

联系人: 吴忠泉, 本科, 高级工程师, 主要从事复合材料专业研究
收稿日期: 2014-07-20

击强度为 5.54 kJ/m^2 , 泡孔细小均匀, 粉化率降低 7.43%。

高卫卫等^[4]将微米级 GF 粉、3 mm 短切 GF 和 6 mm 短切 GF 按照一定比例添加到 PF 泡沫体系中, 研究 GF 长度及含量对 PF 泡沫塑料性能的影响。结果表明, 采用质量分数为 12% 的 3 mm 的短切 GF 增强 PF 泡沫塑料的压缩性能和阻燃性能最好, 其压缩强度比纯 PF 泡沫塑料增加 38%, LOI 达到 44.1%; 采用质量分数为 8% 的 6 mm 短切 GF 增强 PF 泡沫塑料拉伸性能最好, 其拉伸强度比纯 PF 泡沫塑料增加了 47%。

庄晓伟等^[5]用原竹纤维对 PF 泡沫塑料进行增强改性, 并用锥形量热仪研究了原竹纤维加入量对 PF 泡沫塑料的燃烧性能和烟气释放特性的影响。结果表明, PF 泡沫塑料的引燃时间随着原竹纤维加入量的增大而缩短, 热释放速率、质量损失速率、生烟速率随原竹纤维加入量的增大总体呈增大趋势, 但由于 PF 泡沫塑料具有良好的阻燃性能, 其燃烧快速成炭特性阻碍了热量在材料内层传递, 减缓了原竹纤维在 0~480 s 燃烧阶段的热释放和烟气释放, 使得加入量为 1.5%~3.5% 的原竹纤维作为其增强材料时, 对 PF 泡沫材料的阻燃性能影响较小。

1.2 无机填料填充改性

沈志伟等^[6]采用原位聚合法制备了氧化石墨改性 PF 树脂, 并以其为主要原料制备了 PF 泡沫塑料。测试了改性 PF 泡沫塑料的力学性能、热稳定性等。结果表明, 与未改性的 PF 泡沫塑料相比, 添加质量分数 1.0% 氧化石墨改性 PF 泡沫塑料泡孔尺寸更加均匀, 压缩强度比未改性的 PF 泡沫塑料提高 65%, 表面粉化率显著降低, 氧化石墨显著提高了 PF 泡沫塑料的强度、韧性及热稳定性。

庄晓伟等^[7]采用羧基碳纳米管 (CNT—COOH) 增强 PF 泡沫塑料, 并探讨了 CNT—COOH 对 PF 泡沫塑料的增强机制。结果表明, CNT—COOH 作为异相成核剂, 使 PF 泡沫泡孔的平均尺寸减小, 泡孔密度增大; 随着 CNT—COOH 含量增加, PF 泡沫 / CNT—COOH 复合材料的压缩弹性模量和压缩强度提高。在不同压缩应变下的扫描电子显微镜 (SEM) 照片表明, CNT—COOH 位于泡孔的孔壁上, 并通过 PF 泡沫 / CNT—COOH 的界面传载作用承受了一定载荷, 增强了 PF 泡沫塑料的力学性能。热重 (TG) 分析和垂直燃烧试验表明, CNT—COOH 作为稳定剂, 降低了泡沫塑料的热降解速率, 使其热稳定性和阻燃性能均略有提高。

方红霞等^[8]以改进的 Hummers 法为基础, 制备了氧化石墨烯 (GO)。该法获得的 GO 具有较高活性和更为规整的结晶结构。采用原位发泡制备了 PF / GO 泡沫塑料。结果表明, GO 的加入能有效地提高 PF 泡沫塑料的耐热性能、阻燃性能, 并改善其防水性能。

刘金虎等^[9]通过正硅酸乙酯在碱性条件下水解生成的 SiO_2 粒子改性 PF 泡沫塑料。结果表明, 正硅酸乙酯水解生成的 SiO_2 和泡沫体有良好的亲和性, 大部分 SiO_2 晶粒尺寸在 $1 \mu\text{m}$ 左右, 当正硅酸乙酯的质量分数为 2% 时, 泡沫塑料的压缩强度和冲击强度较好, 比纯 PF 泡沫塑料分别提高了 40% 和 63%。同时泡沫塑料的热稳定性有了一定的提高。

潘恒太等^[10]以热固性甲阶 PF 树脂为基体, 正戊烷为物理发泡剂, 玻璃微珠和 PEG 为改性剂, 制备密度 200 kg/m^3 以上综合性能较好的高密度 PF 泡沫塑料。研究表明, 通过调节物理发泡剂与混合酸催化剂用量, 可有效控制泡沫密度以及发泡凝胶时间, 添加质量分数 4% PEG 和 8% 的玻璃微珠, 能够改善泡沫脆性和压缩强度, 通过 130°C 、2.5 h 的后处理可稳定 PF 泡沫塑料的质量。该高密度 PF 泡沫塑料在 180°C 高温下具有高的压缩强度, 尺寸变化率在 1% 以内。

王斌等^[11]为改善 PF 泡沫塑料的耐高温性能, 将适量的 B_2O_3 引入 PF 泡沫塑料, 经模压成型、固化后, 制备出硼改性 PF 泡沫塑料。结果表明, 硼改性 PF 泡沫塑料的压缩断裂特征为假塑性断裂模式; 引入适量的 B_2O_3 , 可改善树脂基体相的韧性, 提高 PF 泡沫塑料的压缩强度, 当 B_2O_3 质量分数 4% 时, PF 泡沫的压缩强度最大, 比纯 PF 泡沫塑料提高了 5.18%。当 B_2O_3 质量分数为 7% 时, PF 泡沫塑料的耐高温性能最优, 其失重 10% 时的热分解温度为 447°C , 比纯 PF 泡沫提高了 76.68%。

位东等^[12]采用原位聚合方法将酸化的 MMT(H-MMT) 与 PF 树脂进行复合, 制成剥离型 PF / MMT 纳米复合材料和其泡沫体。结果表明, H-MMT 与 PF 树脂复合后能形成剥离型 PF / MMT 纳米复合材料, 制成的泡沫中的 MMT 片层发生了取向化, 形成了一种 MMT 片层包裹气泡的结构, 因此加固了气泡壁, 提高了泡沫的压缩强度, 降低了泡沫的掉渣程度。另外, 由于 MMT 片层的纳米效应, 也提高了纳米复合材料泡沫的热稳定性。但是当 H-MMT 质量分数大于 7% 时, MMT 片层会有团聚现象, 影响泡沫性能。

杨勇等^[13]采用原位复合方法制备了 PF / 镁盐晶须泡沫塑料。结果表明, 少量镁盐晶须与 PF 泡沫复合, PF 泡沫压缩强度、弯曲强度均有明显提高, 特别是经偶联剂处理过的镁盐晶须, 增强效果更好; 当镁盐晶须质量分数为 3% 时, 泡沫粉化程度和回弹性改善达到最优值; 而且复合泡沫在高温区域的热稳定性也得到了改善, 阻燃性有所提高。

2 增韧改性

PF 泡沫主要通过以下方法进行增韧改性: ①加入外增韧剂, 通过与 PF 树脂共混的方式达到增韧的目的; ②化学增韧法即通过 PF 树脂与增韧剂的化学反应达到增韧的目的; ③用带有韧性链的酚类物质部分代替苯酚合成 PF 树脂。

2.1 加入外增韧剂

这一改性方式要求 PF 树脂和外增韧剂须具有一定的混溶性,才能改善其脆性,提高韧性。常用这类增韧剂有 3 类,分别是橡胶类弹性体、热塑性树脂和小分子增韧剂。

橡胶弹性体有丁腈橡胶、丁苯橡胶、天然橡胶等。橡胶的加入量一般宜控制在 5%~20% 之间。

李玲等^[14]应用丁腈橡胶粉(NBRP)对 PF 树脂进行改性,再与其它助剂复合,在 70℃ 下制备改性 PF 泡沫塑料。结果表明, NBRP 质量分数为 2% 时,改性 PF 泡沫塑料性能的综合性能最佳。

宋镕光等^[15]研究了液体丁腈橡胶(LNBR)对 PF 泡沫塑料的增韧效果。结果表明,当 LNBR 用量为 0.6 份时,泡沫塑料的冲击强度和压缩强度分别由原来的 1.17 kJ/m² 和 0.105 MPa 提高到 2.82 kJ/m² 和 0.336 MPa,这证明 LNBR 对 PF 泡沫塑料有显著的增韧作用,且泡沫经改性后具有良好的耐热性和热稳定性。

常用的热塑性树脂增韧剂有聚乙烯醇、聚醚、聚酰胺(PA)等。

缪长礼等^[16]为了改善 PF 泡沫塑料的韧性,采用 PA 对 PF 树脂进行改性,并通过化学发泡法制备了不同含量 PA 改性的 PF 泡沫塑料。结果表明, PA 与 PF 树脂发生了共固化反应; PF 树脂的反应活性随着 PA 含量的增加逐渐降低;加入的 PA 有效地改善了 PF 泡沫塑料的韧性; PF 泡沫塑料的弯曲强度随着 PA 含量的增加呈现先增加后减小的趋势,当 PA 质量分数为 10% 时,弯曲强度达到最大,比未改性的提高了约 81%,且 SEM 照片显示此时的 PF 泡沫塑料泡孔结构最好,泡孔大小均匀,平均直径约为 400 μm。

钟远等^[17]研究了端氨基聚醚改性 PF 树脂,并制备了柔性 PF 泡沫塑料。讨论了氨基聚醚用量对泡沫密度、掉渣率、压缩强度和吸水率的影响。结果表明,相对分子质量 5000 的氨基聚醚改性效果优于相对分子质量 2000 的氨基聚醚。当氨基聚醚 5000 质量分数为 8% (相对 PF 树脂的质量),匀泡剂加入质量分数为 3%,发泡剂加入质量分数为 10% 时进行发泡,泡沫掉渣率比未改性 PF 泡沫减少 41.6%,压缩强度提高 29.1%,吸水率降低 23.7%。SEM 显示氨基聚醚改性 PF 泡沫塑料的泡孔直径较小,孔与孔分布更紧密、均匀,闭孔率较高。

常怀春^[18]制备了聚丙烯酸正丁酯改性 PF 树脂,并观察了催化剂、反应时间等因素对合成聚丙烯酸正丁酯改性 PF 树脂的影响。结果表明,聚丙烯酸正丁酯的引入可加快 PF 树脂的固化。采用正交实验的方法,得到室温下制备改性 PF 泡沫塑料的配方。经测试表明,在保证 PF 泡沫塑料绝热性能不变的前提下,聚丙烯酸正丁酯可有效地改善 PF

泡沫塑料的脆性。

小分子增韧剂如乙二醇、邻苯二甲酸二辛酯等有机物质都是常用的泡沫增韧剂。

宋宝林等^[19]以腰果酚、苯酚与甲苯为原料合成 PF 树脂,以乙二醇作为增韧剂,与 PF 树脂、固化剂、发泡剂、表面活性剂按照一定比例进行发泡。探讨了乙二醇的加入量对 PF 泡沫塑料的形貌、密度、压缩强度以及燃烧性能的影响。结果表明, PF 树脂用量为 100 份、固化剂为 15 份、发泡剂为 10 份、表面活性剂为 5 份时,乙二醇为 15 份时,所得增韧 PF 泡沫塑料性能最好。

葛铁军等^[20]在合成阶段用不同量的尿素增韧改性甲阶 PF 树脂,并将改性后的树脂制备成泡沫塑料,测试改性泡沫塑料的性能。结果显示,随着尿素用量的增加,泡沫塑料的吸水率、韧性、阻燃性提高,压缩强度下降,热稳定性有所改善;合成过程中的最佳尿素用量为 3%。

2.2 化学增韧法

化学增韧法是在 PF 树脂中加入改性剂,通过酚羟基和改性剂的化学反应接枝柔性链,从而得到内增韧的改性 PF 树脂。此方法的增韧效果比物理共混法好。其中,聚氨酯(PUR)改性 PF 泡沫塑料是一种很好的化学增韧方法。

文振广等^[21]采用端异氰酸酯聚醚预聚物与可发性 PF 树脂制备了 PF/PUR 泡沫塑料,通过改变聚合反应时间控制 PF 树脂的结构。结果表明, PF 树脂黏度大于 2.15 Pa·s 时, PF/PUR 泡沫塑料的收缩率低;可发性 PF 树脂分子量增加(黏度从 2.15 Pa·s 增加到 5.05 Pa·s)时, PF/PUR 泡沫塑料的密度基本保持稳定,泡沫塑料的弯曲强度和弯曲应变远高于纯 PF 泡沫塑料;泡沫塑料的热稳定性优于 PUR 泡沫塑料,在 150℃ 烘烤 2 h,泡沫塑料的质量损失为 5%~6%,体积变化率为 -5% 左右;泡沫塑料密度由 95 kg/m³ 下降到 55 kg/m³ 时,泡沫塑料仍具有很好的韧性和较好的尺寸稳定性。

殷锦捷等^[22]采用二苯基甲烷二异氰酸酯(MDI)和 PEG 协同增韧 PF 泡沫塑料。结果表明,当 PF 树脂用量为 100 份,改性剂总用量 15 份,MDI 和 PEG 的质量比为 1:3 时, PF 泡沫塑料的冲击强度最大,达到 6.224 kJ/m²,拉伸强度为 1.26 MPa,泡沫粉化率降低了 5.11%。热稳定性和阻燃性都有所下降,平均燃烧时间增加了 4 s。

刘朝晖等^[23]用甲苯二异氰酸酯(TDI)型 PUR 半预聚体对 PF 常温发泡材料进行改性。结果表明,当 TDI 型 PUR 半预聚体—NCO 与—OH 物质的量之比为 4:1、配方中 PUR 半预聚体用量为 5 份,所制得材料回弹率达到 35%,回弹率为 10% 的压缩强度达到 0.26 MPa,能有效改进 PF 泡沫塑料的韧性。

2.3 用部分带有韧性链的酚类物质代替苯酚合成树脂

用含有与苯酚相类似官能团的韧性物质部分代替苯酚与甲醛缩合,制备 PF 树脂,从而达到增韧的目的。如可用间苯二酚、邻甲酚、对甲酚等改性;烷基酚和腰果壳油改性亦有报道;另外,也有人尝试用生物油改性苯酚。

张苛等^[24]以粗酚、苯酚、多聚甲醛为原料合成了可发性粗酚 PF 树脂,并发泡制备了粗酚 PF 泡沫塑料。结果表明,粗酚的加入使泡沫塑料的力学性能、泡孔分布均有所提高。其中粗酚质量分数为 30% 时,泡沫综合性能最佳,压缩强度为 0.206 MPa,弯曲断裂力为 36 N,吸水率为 5.99%,较纯 PF 泡沫塑料有一定程度提高。粗酚 PF 泡沫塑料 LOI 大于 40%,阻燃性能优异,且保温性能良好。

刘瑞杰等^[25]用腰果酚代替部分苯酚改性 PF 树脂,制备可发性甲阶 PF 树脂。结果表明,当腰果酚替代量为 10% 时,制得的树脂黏度为 4650 mPa·s,树脂中游离苯酚含量从 6.72% 降为 5.45%,游离甲醛含量从 1.17% 降为 0.68%,甲阶 PF 树脂泡沫压缩强度达到最大值 0.20 MPa,但树脂热稳定性及甲阶 PF 树脂泡沫阻燃性有所下降。

李本等^[26]利用生物油中富含酚类物质的特性,将其与苯酚、多聚甲醛反应合成可发性生物油 PF 树脂,通过调整发泡工艺制备出综合性能优异的生物油 PF 泡沫塑料。最佳发泡配方为:催化剂选用复配比例为对甲苯磺酸/磷酸质量比 = 2 : 1 的催化剂体系,催化剂质量分数为 10% ~ 15%;发泡剂选用石油醚,质量分数为 5% ~ 10%;表面活性剂选用吐温-80,质量分数为 5%;发泡温度控制在 75℃。由此得到的生物油改性 PF 泡沫塑料各项性能良好。

伊江平等^[27]以生物油、苯酚及多聚甲醛为原料制备出可发性生物油改性 PF 树脂,通过正交实验法优选出最佳合成工艺。并由此树脂制备出生物油改性 PF 泡沫。研究结果表明,生物油改性 PF 树脂的最佳合成反应条件如下:多聚甲醛与苯酚物质的量比为 2.2 : 1,生物油质量分数为 20%,NaOH 与苯酚物质的量比为 0.35 : 1,反应时间为 20 min。该树脂因采用了生物油制备而具有较高活性和更多醚键,以其制备的 PF 泡沫塑料综合性能良好,可用作建筑保温材料。

刘金虎等^[28]制备了生物基单宁改性的 PF 泡沫塑料,测试了不同单宁添加量对 PF 泡沫塑料力学性能的影响。结果表明,含有单宁结构的 PF 泡沫塑料的力学性能显著提高。单宁中的酚类物质部分替代苯酚,用于制备生物基甲阶 PF 树脂,进而制备改性 PF 泡沫塑料。相比于普通 PF 泡沫,改性 PF 泡沫塑料的压缩强度提高 79%,冲击强度提高 71%,弯曲强度提高了 30%。TG 分析表明,改性 PF 泡沫塑料的热稳定性有所下降,相同温度下的失重率较 PF 泡沫塑料增加 2% ~ 5%,但依然具有较好的热稳定性。

朱殿奎等^[29]针对 PF 泡沫塑料韧性差、强度低、吸水率高等不适用于外墙外保温的特点,采用杨梅栲胶对其进行改性。结果表明,加入栲胶后泡沫塑料的韧性、压缩强度、吸水率明显改善。栲胶加入量为树脂质量的 10% ~ 20% 时,PF 泡沫塑料的泡孔细腻、均匀,密度适中,栲胶加入量为树脂质量的 15% 时,PF 泡沫塑料的韧性及阻燃性最好。

3 其它改性方法

发泡助剂(如催化剂/固化剂、发泡剂、表面活性剂等)的种类及用量对 PF 泡沫塑料的性能也有较大的影响。催化剂或固化剂的选择应使聚合物的固化速度与发泡速度匹配;发泡剂的种类和用量直接影响泡沫塑料密度;表面活性剂的用量虽小,但可以保证发泡过程中形成均匀微细多泡孔结构和稳定的闭孔率,还可以加快反应过程,进而对泡沫制品的物理和力学性能产生影响。

马玉峰等^[30]分别以氢氧化钡[Ba(OH)₂]、三乙胺[(C₂H₅)₃N]、氢氧化钠(NaOH)为催化剂,利用多聚甲醛代替甲醛溶液合成 3 种高固体含量可发性 PF 树脂,并在 70℃ 发泡制备 PF 泡沫塑料。结果表明,3 种催化剂的催化效率依次为:NaOH > (C₂H₅)₃N > Ba(OH)₂。以 NaOH 为催化剂制备的 PF 树脂及其泡沫材料的综合性能最优。他们^[31]还研究了酸固化剂的种类对 PF 泡沫塑料性能的影响。结果表明,以盐酸、磷酸、对甲苯磺酸、水复配的酸固化剂基本符合酸固化剂的选择标准,制备的 PF 泡沫塑料性能较优。王立艳等^[32]采用戊烷等无氟复合发泡剂制备了性能优异的 PF 泡沫塑料,研究了发泡剂用量对 PF 泡沫塑料性能的影响。结果表明,无氟复合发泡剂质量分数为 10% 时,PF 泡沫塑料的压缩强度为 0.15 MPa、热导率最小为 0.23 W/(m·K) 和 LOI 为 41%,综合性能最佳。

此外,也有学者对 PF 树脂的阻燃改性进行了研究。例如,马玉峰等^[33]采用逐步共缩聚的合成工艺制备高固含量甲阶 PF 树脂,选择 3 种环保型无卤阻燃剂聚磷酸铵(APP)、三聚氰胺磷酸盐(MP)、含氮磷结构的无卤阻燃剂(LM-NPP 8081)填充 PF 树脂,并以此制备 PF 泡沫塑料。结果表明,采用 MP 复合 PF 泡沫塑料,并当 MP 阻燃剂质量分数为 8% 时 PF 泡沫塑料的综合性能较好,此时 MP 复合泡沫塑料的 LOI 为 55.22%,压缩强度为 0.30 MPa,弯曲强度为 0.28 MPa,掉渣率为 34.40%。殷锦捷等^[34]以 APP、三聚氰胺和季戊四醇为复合阻燃剂,PEG 和 GF 改性 PF 树脂为基体,制备改性阻燃 PF 泡沫塑料。结果表明,PF 树脂为 100 份,PEG 为 12 份,复合阻燃剂为 15 份,制备的改性阻燃 PF 泡沫塑料具有优异的韧性和阻燃性能。

4 结语

改性剂的选择、改性方法,以及改性材料和 PF 间的相

容性等问题都是影响 PF 泡沫塑料性能的主要因素。随着对新型 PF 泡沫塑料配方和改性方法的不断探索,PF 泡沫塑料在功能特性方面会得到更多改善,从而具备优异的力学性能、热性能和阻燃性能等,将被广泛应用于航空航天、航海、电子、建筑、包装等领域。

参考文献

- [1] 杨彦峰,等.工程塑料应用,2013,41(8):35-38.
Yang Yanfeng, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(8):35-38.
- [2] 杨彦峰,等.中国塑料,2014,28(1):17-21.
Yang Yanfeng, et al. China Plastics, 2014, 28(1):17-21.
- [3] 殷锦捷,等.上海塑料,2010(2):37-40.
Yin Jinjie, et al. Shanghai Plastics, 2010(2):37-40.
- [4] 高卫卫,等.玻璃钢/复合材料,2013(8):10 017-10 020.
Gao Weiwei, et al. Fiber Reinforced Plastics / Composites, 2013(8):10 017-10 020.
- [5] 庄晓伟,等.中国塑料,2013,27(9):17-21.
Zhuang Xiaowei, et al. China Plastics, 2013, 27(9):17-21.
- [6] 沈志伟,等.中国塑料,2013,27(5):34-38.
Shen Zhiwei, et al. China Plastics, 2013, 27(5):34-38.
- [7] 庄晓伟,等.复合材料学报,2013,30(5):14-20.
Zhuang Xiaowei, et al. Acta Materiae Compositae, 2013, 30(5):14-20.
- [8] 方红霞,等.工程塑料应用,2013,41(11):103-106.
Fang Hongxiao, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(11):103-106.
- [9] 刘金虎,等.化工新型材料,2014,42(2):108-110.
Liu Jinhu, et al. New Chemical Materials, 2014, 42(2):108-110.
- [10] 潘恒太,等.应用化工,2012,41(4):674-678.
Pan Hengtai, et al. Applied Chemical Industry, 2012, 41(4):674-678.
- [11] 王斌,等.中国材料进展,2013,32(11):641-645.
Wang Bin, et al. Materials China, 2013, 32(11):641-645.
- [12] 位东,等.化工新型材料,2011,39(10):131-134.
Wei Dong, et al. New Chemical Materials, 2011, 39(10):131-134.
- [13] 杨勇,等.中国塑料,2006,20(9):37-40.
Yang Yong, et al. China Plastics, 2006, 20(9):37-40.
- [14] 李玲,等.林产化学与工业,2013,33(2):31-36.
Li Ling, et al. Chemistry and Industry of Forest Products, 2013, 33(2):31-36.
- [15] 宋镕光,等.塑料工业,2011,39(2):25-28.
Song Rongguang, et al. China Plastics Industry, 2011, 39(2):25-28.
- [16] 缪长礼,等.宇航材料工艺,2012,42(2):61-63.
Miao Changli, et al. Aerospace Materials & Technology, 2012, 42(2):61-63.
- [17] 钟远,等.现代化工,2010(5):60-62.
Zhong Yuan, et al. Modern Chemical Industry, 2010(5):60-62.
- [18] 常怀春,等.中国塑料,2005,19(12):53-56.
Chang Huaichun, et al. China Plastics, 2005, 19(12):53-56.
- [19] 宋宝林,等.聊城大学学报:自然科学版,2013,26(1):43-45.
Song Baolin, et al. Journal of Liaocheng University : Natural Science Edition, 2013, 26(1):43-45.
- [20] 葛铁军,等.塑料,2013,42(3):55-58.
Ge Tiejun, et al. Plastics, 2013, 42(3):55-58.
- [21] 文振广,等.北京化工大学学报:自然科学版,2011,38(2):52-57.
Wen Zhenguang, et al. Journal of Beijing University of Chemical Technology: Natural Science Edition, 2011, 38(2):52-57.
- [22] 殷锦捷,等.应用化工,2010,39(11):1 693-1 695.
Yin Jinjie, et al. Applied Chemical Industry, 2010, 39(11):1 693-1 695.
- [23] 刘朝晖,等.聚氨酯工业,2010(4):17-19.
Liu Zhaohui, et al. Polyurethane Industry, 2010(4):17-19.
- [24] 张苛,等.塑料工业,2013,41(2):11-15.
Zhang Ke, et al. China Plastics Industry, 2013, 41(2):11-15.
- [25] 刘瑞杰,等.生物质化学工程,2013,47(5):30-34.
Liu Ruijie, et al. Biomass Chemical Engineering, 2013, 47(5):30-34.
- [26] 李本,等.现代化工,2014(1):79-82.
Li Ben, et al. Modern Chemical Industry, 2014(1):79-82.
- [27] 伊江平,等.热固性树脂,2013,28(4):29-33.
Yi Jiangping, et al. Thermosetting Resin, 2013, 28(4):29-33.
- [28] 刘金虎,等.工程塑料应用,2013,41(7):12-16.
Liu Jinhu, et al. Engineering Plastics Application, 2013, 41(7):12-16.
- [29] 朱殿奎,等.新型建筑材料,2009,36(7):75-78.
Zhu Diankui, et al. New Building Materials, 2009, 36(7):75-78.
- [30] 马玉峰,等.工程塑料应用,2012,40(12):7-11.
Ma Yufeng, et al. Engineering Plastics Application, 2012, 40(12):7-11.
- [31] 马玉峰,等.工程塑料应用,2012,40(11):77-81.
Ma Yufeng, et al. Engineering Plastics Application, 2012, 40(11):77-81.
- [32] 王立艳,等.新型建筑材料,2012,39(3):10-12.
Wang Liyan, et al. New Building Materials, 2012, 39(3):10-12.
- [33] 马玉峰,等.林产化学与工业,2013,33(2):61-65.
Ma Yufeng, et al. Chemistry and Industry of Forest Products, 2013, 33(2):61-65.
- [34] 殷锦捷,等.应用化工,2010,39(2):247-250.
Yin Jinjie, et al. Applied Chemical Industry, 2010, 39(2):247-250.